

# Elektros energijos skirstymo technologinės sąnaudos

**Rimantas Deksnys,**

**Robertas Staniulis**

*Kauno technologijos universitetas,  
Elektros sistemų katedra,  
Studentų g. 48, LT-51367 Kaunas,  
el. paštas: rimantas.deksnys@ktu.lt  
robertas.staniulis@ktu.lt*

Elektros energijos sąnaudos yra neišvengiamos gaminant, perduodant ir skirstant elektros energiją. Šios sąnaudos gali būti apibrėžiamos kaip pateiktos į elektros tinklus ir vartotojų apskaitytos bei apmokėtos energijos skirtumas. Elektros energijos sąnaudos yra skirstomos į technologines, susijusias su sąnaudomis tinklo elementuose, ir komercines, susijusias su neapskaityta ir vartotojų neapmokėta elektros energija. Ataskaitinių ir technologinių sąnaudų apskaičiavimas leidžia skirstomojo tinklo operatoriui nustatyti ir minimizuoti komercinius nuostolius (neteisėtą vartojimą). Straipsnyje nagrinėjamos elektros energijos technologinių sąnaudų skaičiavimo problemos, siūloma tikslesnė ir išsamesnė šių sąnaudų skaičiavimo metodika. Pateikti konkretūs technologinių sąnaudų skaičiavimai.

**Raktažodžiai:** elektros energija, skirstomasis tinklas, technologinės sąnaudos, komerciniai nuostoliai, matavimo paklaidos ir skirstiniai

## 1. ĮVADAS

Elektros energijos gamyba, perdavimas ir skirstymas sukelia technologines sąnaudas, kurios yra elektros energijos persiuntimo ekonomiškumo rodiklis. Todėl elektros energijos technologinės sąnaudos skaičiuojamos elektros tinklų darbo režimų analizei ir turi įtakos perspektyviam elektros tinklų darbo planavimui. Šių skaičiavimų tikslas yra ne tik nustatyti technologines sąnaudas, bet ir jų dedamąsias, kurios leistų įvertinti elektros tinklų darbo ekonomiškumą, numatyti priemones elektros tinklų režimų ekonomiškumui pagerinti, įvertinti komercinių nuostolių dydį ir koreguoti elektros vartotojų bei tiekėjų atsiskaitymus. Tikslus elektros energijos technologinių sąnaudų nustatymas yra svarbus skirstomųjų tinklų operatoriaus uždavinys, nes faktinių ir skaičiuojamųjų technologinių sąnaudų įvertinimas leidžia nustatyti ir minimizuoti komercinius elektros energijos nuostolius, t. y. energijos vagystes ir kita.

Užsienio šalių elektros tinklų pateiktos informacijos analizė rodo, kad elektros energijos perdavimo ir skirstymo technologinės sąnaudos įvairiose šalyse skiriasi gana žymiai, pvz., Liuksemburge elektros energijos technologinės sąnaudos tesiekia 1,72%, tuo tarpu Vengrijoje ir Rumunijoje atitinkamai 12,74 ir 12,80%. Tai priklauso ne tik nuo realių technologinių sąnaudų, bet ir nuo priimtų skaičiavimo metodikos bei mokesčių sistemos. Pateikta statistika rodo, kad vidutinės elektros tinklų technologinės sąnaudos Europoje yra 6–7% [1].

Straipsnyje nagrinėjamos skaičiavimo problemos, siūloma tikslesnė ir išsamesnė elektros energijos technologinių sąnaudų skaičiavimo metodika bei pateikti Lietuvos skirstomųjų tinklų technologinių sąnaudų skaičiavimo rezultatai.

## 2. ELEKTROS ENERGIJOS TECHNOLOGINIŲ SĄNAUDŲ ĮVERTINIMAS

Elektros energijos sąnaudos elektros tinkluose pakankamai tiksliai gali būti apskaičiuotos žinant tinklo elementų techninius ir elektrinius parametrus ir galios bei energijos srautus bei jų apkrovos grafikus visuose tinklo elementuose, taip pat įvertinant sąnaudas antrinėse grandinėse ir elektros energijos praradimus dėl komercinės apskaitos netikslumo. Tačiau realiai elektros energijos technologinių sąnaudų skaičiavimas naudojant klasikines išraiškas yra komplikotas ir neįmanomas dėl nepakankamų skirstomųjų tinklų darbo režimų elektrinių parametrų matavimų ir energijos apskaitos, apkrovos grafikų parametrų stygiaus ir pan. Paprastai yra matuojami skirstomojo tinklo linijų pradžių režimo elektriniai parametrai ir žinomi apkrovų grafikai perdavimo ir skirstomojo tinklo sandūroje. Tik kai kurie elektros vartotojai turi šiuolaikinę energijos apskaitą. Todėl tenka naudoti apibendrintas technologinių sąnaudų skaičiavimo elektros linijose ir transformatoriuose išraiškas, įvertinančias suminius kiekvieno skirstomųjų tinklų skyriaus duomenis kaip linijų ilgį, skaičių ir varžą; transformatorių skaičių ir tipus; matavimo grandinių įrenginių skaičių ir pan.

Tikslų energijos matavimų duomenų trūkumas įvairiuose skirstomojo tinklo lygiuose yra svarbi elektros energijos technologinių sąnaudų skaičiavimo tikslumą lemianti problema, nes sudėtinga apskaičiuoti maksimalios apkrovos trukmę, didžiausių sąnaudų laiką arba apkrovos grafiko formos koeficientą. Todėl siekiant sprendinio tenka naudoti žinomus paros apkrovos valandinius perdavimo ir skirstomojo tinklo sandūros energijos srauto grafikus. Tokiu atveju suminės technologinės energijos

snaudos 0,4–35 kV įtampos linijose gali būti apskaičiuojamos pagal tokią apibendrintą išraišką:

$$W_{Ls} = \frac{W_P^2 + W_Q^2}{U^2 T_{maks}^2 N^2} k_A k_{nes} r_{vid} L_{\Sigma} \tau ; \quad (1)$$

čia  $W_P$ ,  $W_Q$  – patiekta į atitinkamos įtampos linijas aktyvioji ir reaktyvioji energija;  $U$  – linijų įtampa;  $T_{maks}$  – maksimalios galios naudojimo laikas;  $N$  – linijų skaičius;  $k_A$  – apkrovų pasiskirstymo koeficientas, įvertinantis radialinio tinklo išsišakojimą ir srovės tankio nevienodumą pirmuosiuose magistralės ruožuose;  $k_{nes}$  – elektros linijos fazinių srovių nesimetrijos koeficientas;  $r_{vid}$  – vidutinė linijų vieno kilometro aktyvioji varža;  $L_{\Sigma}$  – bendras atitinkamos įtampos linijų ilgis;  $\tau$  – didžiausių sąnaudų laikas.

Praktiškai gana sudėtinga nustatyti tiksliai apkrovų pasiskirstymo ir fazinių srovių nesimetrijos koeficientų reikšmes. Esant normaliai elektros tinklo techninių parametrų ir jo mazgų apkrovų atitikčiai buvo rekomenduojama priimti apkrovų pasiskirstymo koeficiento reikšmę 0,26, o fazinių srovių nesimetrijos koeficiento reikšmę žemosios įtampos tinkle intervale nuo 1,05 iki 1,55 ir vidutinės įtampos – 1,0 [4]. Nustatyta, kad keičiantis egzistuojančių tinklų apkrovai ir galių srautams keičiasi ir minėti koeficientai, todėl koeficientai  $k_A$  ir  $k_{nes}$  neatitinka ankstesnėje metodikoje siūlomų reikšmių. Eksperimentiniai tyrimai Lietuvos skirstomuosiuose tinkluose leido nustatyti, kad apkrovų pasiskirstymo koeficientas  $k_A$  vidutinės įtampos tinkle gali padidėti iki 0,51 ir jo patikslinimui reikia atlikti eksperimentus kiekvienam skirstomųjų tinklų skyriui atskirai. Tokius pat apkrovų pasiskirstymo koeficiento patikslinamuosius matavimus ir skaičiavimus reikia atlikti ir žemosios įtampos tinklams. Tyrimais nustatyta, kad elektros linijų fazinių srovių nesimetrijos koeficiento  $k_{nes}$  reikšmių diapazonas gali būti nuo 1,05 iki 1,2. Siekiant tiksliau nustatyti elektros energijos technologines sąnaudas pagal pateiktą metodiką reikėtų jas atskirai skaičiuoti oro linijose ir kabeliuose, taip pat kiekviename skirstomųjų tinklų poskyryje (pramoniniame, buitiniame, žemės ūkio ir pan.).

Skaičiuojant technologines sąnaudas transformatoriuose, reikia įvertinti transformatoriaus tuščiosios veikos aktyviosios galios sąnaudas, priklausančias nuo šerdies medžiagos, sluoksniavimo tipo, izoliacijos, įtampos bei dažnio, ir apkrauto transformatoriaus aktyviosios galios sąnaudas, susidarantią transformatoriaus apvijose ( $P^R$ ). Turint aktyviosios ir reaktyviosios energijų apskaitos prietaisų rodmenis, bet kurio vieno 110, 35, 10 ar 6 kV galios transformatoriaus sąnaudas skaičiuojamos taikant vidutinių apkrovų metodą:

$$W_{Ts} = P_0 \cdot t_0 + P_K \frac{(W_P^2 + W_Q^2)}{S_N^2 \cdot T_d} k_f^2 ; \quad (2)$$

čia  $P_0$  – tuščiosios veikos aktyviosios galios sąnaudos;  $t_0$  – per skaičiuojamąjį periodą prie įtampos prijungto transformatoriaus valandų skaičius;  $P_K$  – trumpojo jun-

gimo aktyviosios galios sąnaudos;  $W_P$  ir  $W_Q$  – transformuota aktyvioji energija ir reaktyvioji energija pagal apskaitos prietaiso rodmenis;  $T_d$  – apkrauto transformatoriaus veikimo laikas arba vidutinis darbo valandų skaičius per skaičiuojamąjį periodą;  $S_N$  – vardinė galios transformatoriaus galia;  $k_f$  – koeficientas, apibūdinantis apkrovos grafiko formą.

Jeigu elektros energijos apskaita vykdoma žemosios įtampos transformatoriaus pusėje, tuomet kintamųjų elektros energijos technologinių sąnaudų skaičiavimus pagal (2) išraišką reikėtų patikslinti ir skaičiuoti iteraciniu Niutono–Rafsono arba kitu metodu, siekiant įvertinti technologinių sąnaudų transformatoriuose įtaką.

Tiksliai apskaičiuoti technologines sąnaudas kiekviename 6-10/0,4 kV galios transformatoriuje yra sunku, nes skaičiavimams trūksta būtinų transformatorių praktikėjų galios ir energijos srautų duomenų. Todėl galima apskaičiuoti tik vidutines technologines sąnaudas. Skaičiavimams siūloma naudoti sutartinį 6-10/0,4 kV transformatoriaus modelį, kuris apibūdinamas vidutine skaičiuojamąja elektrine apkrova  $\bar{P}_T$  ir vidutinėmis kintamosiomis energijos technologinėmis sąnaudomis  $\bar{P}_K$ . Suminės technologinės elektros energijos sąnaudos sutartiniuose 6-10/0,4 kV galios transformatoriuose yra kintamųjų ir pastoviųjų technologinių sąnaudų suma:

$$W_{Ts6-10/0,4} = \bar{P}_{K6-10} \cdot \tau_{6-10} \cdot N_{6-10} + \sum_{i=1}^{N_{6-10}} P_{0i6-10} \cdot t_{0i} ; \quad (3)$$

čia  $\bar{P}_{K6-10}$  – apskaičiuotos transformatoriaus kintamosios aktyviosios galios sąnaudos;  $\tau_{6-10}$  – didžiausių galios sąnaudų laikas;  $N_{6-10}$  – 6-10/0,4 kV galios transformatorių skaičius;  $\bar{P}_{0i6-10}$  –  $i$ -ojo 6-10/0,4 kV galios transformatoriaus tuščiosios veikos aktyviosios galios sąnaudos;  $t_{0i}$  – skaičiuojamuoju periodu prie įtampos prijungto  $i$ -ojo galios transformatoriaus valandų skaičius.

Vidutinės kintamosios sutartinio 6-10/0,4 kV galios transformatoriaus energijos technologinės sąnaudos gali būti nustatytos [4]:

$$\bar{P}_{K6-10} = 0,05544 \cdot \bar{P}_{10/0,4}^{0,7644} = 0,05544 \left( \frac{W_{0,4}}{T \cdot N_{6-10}} \right)^{0,7644} ; \quad (4)$$

čia  $\bar{P}_{10/0,4}$  – vidutinė apskaičiuota sutartinio 6-10/0,4 kV galios transformatoriaus apkrova per periodą  $t_0$ ;  $W_{0,4}$  – į 0,4 kV įtampos tinklus patiekta elektros energija;  $T$  – skaičiuojamasis laikotarpis valandomis.

Skaičiavimo tikslumas priklauso nuo (4) išraiškoje panaudotų koeficientų atitikimo skaičiuojamajai elektros tinklo situacijai.

Elektros energijos technologinės sąnaudos atsiranda ne tik elektros linijose ir transformatoriuose, bet ir kituose elementuose kaip linijų kontaktuose, komutacinių aparatų varžose, matavimo ir antrinėse grandinėse, taip pat sąnaudos neatjungtų linijų nutrūkusiuose laiduose ir linijų įžemėjusiuose laiduose. Šios sąnaudos gali siekti 10% visų sąnaudų, todėl yra svarbu nustatyti galimą jų diapazoną.

0,4 kV įtampos linijų energijos sąnaudos kontaktų ir komutacinių aparatų varžose gali būti apskaičiuotos vie-

nai, visoms nuo transformatorinės išeinančioms linijoms arba visoms skyriaus elektros linijoms pagal apibendrintą išraišką:

$$W_{k.s0,4} = \frac{W_p^2 + W_Q^2}{10^3 \cdot N_L \cdot U_N^2 \cdot T} k_f^2 k_{nes} R_{k0,4}; \quad (5)$$

čia  $W_p, W_Q$  – aktyvioji ir reaktyvioji energija 0,4 kV linijos arba linijų pradžioje;  $N_L$  – 0,4 kV įtampos linijų skaičius;  $R_{k0,4}$  – ekvivalentinė 0,4 kV linijos kontaktų ir komutacinių aparatų varža (priimama, kad  $R_{k0,4} = 15 \text{ m}\Omega$ ).

Elektros energijos sąnaudos matavimo grandinėse susideda iš sąnaudų matavimo transformatoriuose bei apskaitos prietaisuose. Sąnaudos elektros skaitikliuose neturėtų būti vertinamos, jeigu jie prijungti prie matavimo transformatorių, nes šios sąnaudos yra įtraukiamos į matavimo transformatorių sąnaudas dėl antrinių grandinių apkrovos. Elektros energijos sąnaudos matavimo grandinėse per nagrinėjamą laikotarpį  $T$  yra:

$$W_{m.g.s} = \left( \sum_{i=1}^{N_{TV}} P_{TV} + \sum_{i=1}^{N_{TA}} P_{TA} + \sum_{i=1}^{N_{SK}} P_{SK} \right) \cdot T; \quad (6)$$

čia  $P_{TV}, P_{TA}, P_{SK}$  – įtampos ir srovės transformatorių bei elektros skaitiklių naudojama galia;  $N_{TV}, N_{TA}, N_{SK}$  – įtampos, srovės transformatorių bei skaitiklių skaičius elektros tinkluose.

Iki šiol buvo nevertinamos elektros energijos technologinės sąnaudos buitinių vartotojų tinkluose. Šias sąnaudas būtų galima įvertinti, žinant buitinių vartotojų pasiskirstymą pagal grupes, atsižvelgus į daugiabučių namų aukštų skaičių, vyrklės tipą, individualius namus ir pan., bei tai grupei patiekto elektros energijos kiekį:

$$W_{b.s} = \sum_{i=1}^n \left( \frac{W_{pi}^2 \cdot R_{ekvi}}{N_i^2} \right) \cdot \frac{k_f^2 k_{nes} k_A}{10^3 \cdot U_N^2 \cdot T}; \quad (7)$$

čia  $W_{pi}$  – vartotojų grupei patiekta energija;  $R_{ekvi}$  – ekvivalentinė vartotojų grupės magistralės ir kontaktinių sujungimų varža;  $N_i$  – vartotojų grupės daugiabučių namų aukštų magistralių arba individualių namų įvadų skaičius;  $n$  – buitinių vartotojų grupių skaičius.

Elektros tinklų eksploatacija rodo, kad nutrūkus žemosios įtampos linijos laidui ne visais atvejais yra atjungiamą linija, todėl atsiranda srovės nuotėkis į žemę. Elektros energijos praradimus dėl srovės nuotėkio per žemosios įtampos linijų nutrūkusius laidus siūloma skaičiuoti taip:

$$W_{lt} = I_{lt} U_{lt} t_{lt} N_{lt}; \quad (8)$$

čia  $I_{lt}$  – nutrūkusiu laidu tekanti srovė, kuri gali būti priimta komutacinio aparato vardinei srovei;  $U_{lt}$  – nutrūkusio laido įtampa;  $t_{lt}$  – vidutinė nutrūkusio laido atjungimo trukmė val.;  $N_{lt}$  – skaičiuojamojo laikotarpio nutrūkusių laidų skaičius. Vidutinė nutrūkusio laido atjungimo trukmė gali būti nustatyta statistškai.

Izoliuotos neutralės tinkluose įžemėjimo režimai gali būti pakankamai ilgalaikiai ir elektros praradimai gali būti ženklūs. Elektros energijos praradimus dėl viduti-

nės įtampos linijų laidų įžemėjimo srovių siūloma įvertinti išraiška:

$$W_{iz} = I_{iz} U_{iz} t_{iz} N_{iz}; \quad (9)$$

čia  $I_{iz}$  – įžemėjimo srovė;  $U_{iz}$  – įtampa įžemėjimo metu;  $t_{iz}$  – vidutinė įžemėjimo trukmė val.;  $N_{iz}$  – skaičiuojamojo laikotarpio įžemėjimų skaičius.

Skaičiavimams galima priimti, kad 35 kV tinkle įžemėjimo srovė gali siekti 10 A, 10 kV tinkle – 20 A, 6 kV tinkle – 30 A. Vidutinė įžemėjimo trukmė gali būti nustatyta pagal įžemėjusių linijų darbo laiką.

### 3. ELEKTROS ENERGIJOS KOMERCINĖS APSKAITOS NETIKSLUMAI IR SKAIČIAVIMO PAKLAIDOS

Elektros energija perdavimo ir skirstymo procese prarandama elektros tinklo elementuose ir netenkama dėl komercinės apskaitos netikslumo. Matavimo prietaisų paklaidos priklauso nuo tikslumo klasės, kinta eksploatacijos metu ir priklauso nuo jų apkrautumo bei darbo režimo. Šiuo atveju elektros energija neprarandama, tačiau ji yra apskaitoma netiksliai ir vartotojų apmokėta energija neatitinka realiai suvartotos. Leistinieji elektros energijos praradimai dėl matavimo paklaidų rodmenų [3] didėjimo ir mažėjimo kryptim konkrečiam objektui (transformatorių pastotė, elektros tinklai ir pan.), įvertinant ir skirstinių vidurkius, siūloma skaičiuoti taip:

$$W_{p.metr}^+ = \sqrt{\sum_{i=1}^{k_g} (\delta_{+i} + m_i)^2 \frac{d_{gi}^2}{n_{gi}} (1 + \gamma_{gi}^2) + \sum_{i=1}^{k_p} (\delta_{+i} + m_i)^2 \frac{d_{pi}^2}{n_{pi}} (1 + \gamma_{pi}^2)}; \quad (10)$$

$$W_{p.metr}^- = - \sqrt{\sum_{i=1}^{k_g} (\delta_{-i} - m_i)^2 \frac{d_{gi}^2}{n_{gi}} (1 + \gamma_{gi}^2) + \sum_{i=1}^{k_p} (\delta_{-i} - m_i)^2 \frac{d_{pi}^2}{n_{pi}} (1 + \gamma_{pi}^2)} + 0,5 \cdot \left( \sum_{i=1}^{n_g} \delta_{TVi} \cdot d_{gi} - \sum_{i=1}^{n_p} \delta_{TVi} \cdot d_{pi} \right); \quad (11)$$

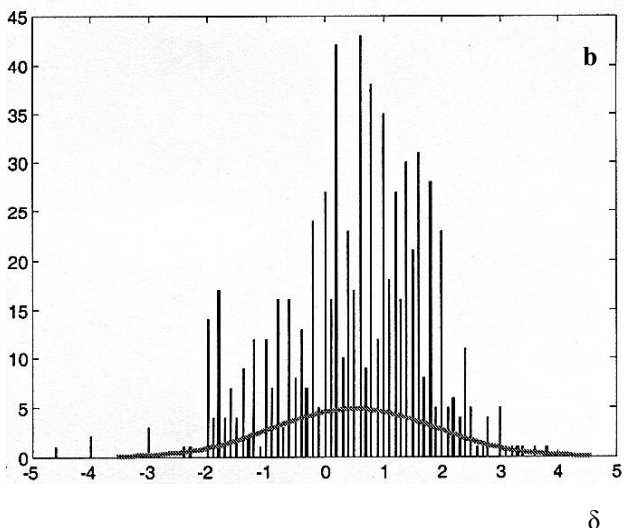
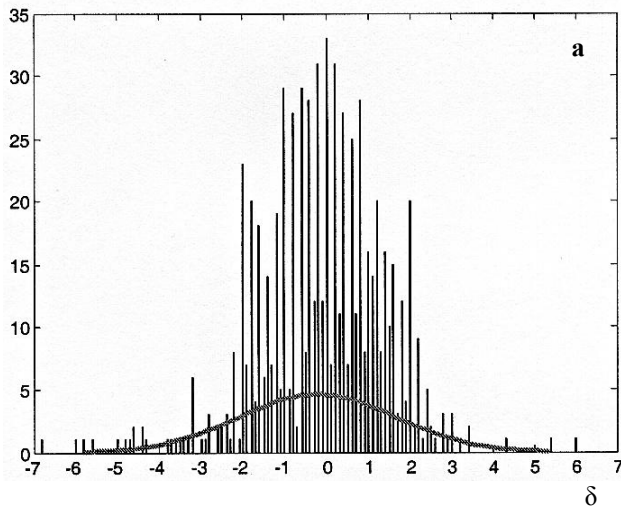
čia  $\delta_{+i}, \delta_{-i}$  – leistinosios matavimo grandinės paklaidos (įtampos transformatorius, srovės transformatorius ir skaitiklis) parodymų didėjimo ir mažėjimo kryptimi;  $m_i$  –  $i$ -ojo skirstinio vidurkis;  $d_{g,i}, d_{a,i}$  – suminis santykinis gaunamos ir patiekiamos elektros energijos srautas, užfiksuotas  $i$ -osios grupės skaitikliais;  $n_{g,i}, n_{p,i}$  – gaunamą ir patiekiamą energiją fiksuojančių skaitiklių skaičius;  $\gamma_{g,i}, \gamma_{p,i}$  – gaunamos ir patiekto energijos skaitiklių rodmenų išsibarstymo koeficientai;  $\delta_{TVi}$  – leistinosios įtampos transformatorių paklaidos.

Šiose išraiškose leistinosios elektros energijos netektytys dėl komercinės apskaitos netikslumų ir paklaidų yra nustatomi pagal matavimo prietaisų, matavimo transformatorių tikslumo klases bei įtampos kritimą antrinėje įtampos matavimo transformatoriaus grandinėje. Tačiau realiai matavimo prietaisai sensta ir jų tikslumas, ypač indukcinųjų skaitiklių, mažėja. Elektros skaitiklių patikrų tyrimai rodo, kad matavimo paklaidų skirstinys yra artimas normaliajam (1 pav.). Tikrintų skaitiklių paklaidų aritmetinis vidurkis  $m$  ir standartinis nuokrypis  $\sigma$  gali būti apskaičiuoti taip:

$$m = \sum_{i=1}^n \delta_i \frac{k_i}{n}; \quad (12)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\delta_i - m)^2}; \quad (13)$$

čia  $n$  – patikrintų skaitiklių skaičius;  $\delta_i$  – paklaidų reikšmių skaičius, pasikartojantis  $k_i$  kartų.



1 pav. Trifazių elektros skaitiklių paklaidų skirstiniai: a) 10% apkrova; b) 100% apkrova

Indukcinių elektros skaitiklių patikros statistikos pagrindu buvo nustatyti trifazių ir vienfazių skaitiklių matavimų paklaidų vidurkiai ir standartiniai nuokrypiai (1 lentelė).

1 lentelė. Elektros skaitiklių paklaidų vidurkiai ir standartiniai nuokrypiai

Skaitiklis	Vidurkis %	Nuokrypis %
	Apkrova 100 %	
Trifazis	0,50	1,36
Vienfazis	-0,14	2,05
Apkrova 10 %		
Trifazis	-0,23	1,87
Vienfazis	-1,10	3,34

Tyrimų rezultatai rodo, kad eksploatuojamų indukcinųjų skaitiklių matavimo paklaidos gali gerokai viršyti gamyklos nustatytas tikslumo klases.

Įvertinant tik skaičiavimų ir matavimų paklaidas, atskaitinio laikotarpio elektros energijos skirstymo technologinių sąnaudų reikšmė turėtų būti apribota diapazonu:

$$W_{tech.min} - W_{p.metr}^+ \leq W_{atask} \leq W_{tech.maks} - W_{p.metr}^-; \quad (14)$$

čia  $W_{tech.min}$  ir  $W_{tech.maks}$  – apskaičiuotos elektros energijos technologinių sąnaudų minimalios ir maksimalios reikšmės, kurios nustatomos atsižvelgus į galimas skaičiavimo paklaidas:

Elektros energijos technologinių sąnaudų minimalios ir maksimalios reikšmės nustatomos atsižvelgus į galimas skaičiavimo paklaidas:

$$\begin{aligned} W_{tech.min} &= W_{tech} (1 - 2 \Delta_{\Sigma}); \\ W_{tech.maks} &= W_{tech} (1 + 2 \Delta_{\Sigma}); \end{aligned} \quad (15)$$

čia  $W_{tech}$  – apskaičiuotos elektros energijos technologinės sąnaudos;  $\Delta_{\Sigma}$  – elektros energijos technologinių sąnaudų skaičiavimo vidutinė kvadratinė suminių paklaidų nuokrypa.

Vidutinė kvadratinė suminių paklaidų nuokrypa apskaičiuojama taip:

$$\Delta_{\Sigma} = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^k (W_{s.maks,i} - W_{s.min,i})^2}}{4 \cdot W_{tech}}; \quad (16)$$

čia  $k$  – sudamų elektros linijų, transformatorių, kontaktų ir matavimo grandinių technologinių sąnaudų dedamųjų skaičius;  $W_{s.maks,i}$ ,  $W_{s.min,i}$  – elektros linijų, transformatorių, kontaktų ar matavimo grandinių minimalios ir maksimalios elektros energijos technologinės sąnaudos;  $W_{tech}$  – apskaičiuotos elektros tinklų skaičiuojamojo laikotarpio elektros energijos technologinės sąnaudos.

#### 4. ELEKTROS ENERGIJOS TECHNOLOGINĖS SĄNAUDOS LIETUVOS SKIRSTOMUOSIUOSE TINKLUOSE

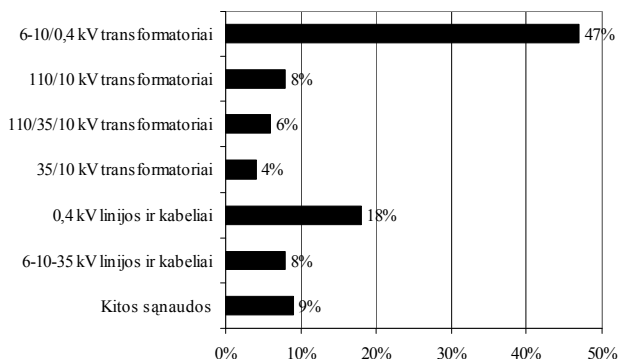
Apskaičiuotos Lietuvos skirstomųjų tinklų elektros energijos technologinės sąnaudos pateiktos 2 lentelėje.

2 lentelė. Technologinės sąnaudos skirstomuosiuose tinkluose

Skirstomųjų tinklų technologinės sąnaudos (Lietuva)	%
110/10 kV transformatoriuose	0,62
110/35/10 kV transformatoriuose	0,46
35/10 kV transformatoriuose	0,28
Savųjų reikiųjų įrenginiuose	0,07
35 kV linijose ir kabeliuose	0,07
6-10 kV linijose ir kabeliuose	0,54
6-10 kV linijų įžemėjimo	0,02
<b>Sąnaudos vidutinės įtampos tinkluose</b>	<b>2,06</b>
6-10/0,4 kV transformatoriuose	3,64
0,4 kV linijose ir kabeliuose	1,35
0,4 kV kontaktuose	0,10
Buitinių vartotojų tinkluose	0,01
Matavimo grandinėse	0,50
0,4 kV linijų nutrūkusių laiduose	0,01
<b>Sąnaudos žemos įtampos tinkluose</b>	<b>5,60</b>
<b>Vidutinės suminės technologinės sąnaudos</b>	<b>7,66</b>
Skaičiavimo metodikos paklaida (±)	0,91
Praradimai dėl matavimo paklaidų (+)	3,13
Praradimai dėl matavimo paklaidų (-)	-3,42
<b>Maksimalios metinės technologinės sąnaudos</b>	<b>12,00</b>

Didžiausios sąnaudos yra 6–10/0,4 kV transformatoriuose ir žemosios įtampos elektros linijose. Pastoviosios sąnaudos visų įtampų transformatoriuose yra gerokai didesnės už kintamąsias sąnaudas, kadangi transformatorių apkrautumas yra gana mažas, ypač kaimo vietovėse.

Lietuvos skirstomųjų tinklų technologinių sąnaudų dėdamosios palygintos tarpusavyje (2 pav.) ir nustatyta, kad didžiausios sąnaudos yra 6-10/0,4 kV transformatoriuose: sudaro beveik pusę visų technologinių sąnaudų, o visuose transformatoriuose – net 65%. Elektros linijose susidaro nemažai technologinių sąnaudų ir siekia 26%,



2 pav. Technologinių sąnaudų pasiskirstymas Lietuvos skirstomuosiuose tinkluose

o visos kitos sąnaudos sudaro apie 9% visų technologinių sąnaudų.

#### 5. IŠVADOS

1. Pateikta nauja metodika, leidžianti apskaičiuoti elektros energijos technologines sąnaudas, įvertinant ir sąnaudas buitinių vartotojų tinkluose, energijos praradimus dėl žemosios įtampos tinklų neatjungtų laidų nutrūkimo bei energijos praradimus dėl vidutinės įtampos tinklų įžemėjimų.

2. Nustatyta, kad skirstomųjų tinklų apkrovų pasiskirstymo koeficiento bei elektros linijų fazinių srovių nesimetrijos koeficiento patikslintos reikšmės yra atitinkamai 0,51 ir 1,2.

3. Tirti indukciniai elektros skaitikliai ir nustatyta, kad jų paklaidų skirstiniai normalieji ir priklausomai nuo apkrovos ir skaitiklių tipo energijos matavimo paklaidų vidurkiai kinta nuo 0,5 iki -1,1%, o standartiniai nuokrypiai – nuo 1,36 iki 3,34%.

Gauta 2006 10 30

Parengta 2006 11 30

#### Literatūra

1. The Operating Environment for Distribution Companies. Eurelectric, February 2005. Ref: 2004-233-0005.
2. Deksnys R., Staniulis R., Šablinskas A. Calculation of technical electric power losses in 0,38–35 kV distribution network // Energetika un elektrotehnika: Rigas Tehniskas universitates zinatniskie raksti. 2003, sejums 9. P. 36–41.
3. Железко Ю. С. Выбор мероприятий по снижению потерь электроэнергии в электрических сетях. Москва: Энергоатомиздат, 1989.
4. Дерский В. Г. и др. Расчет потерь электроэнергии в распределительных сетях 0,4–154 кВ и формирование системы розничных тарифов. Киев, 1998.
5. Кушнарев Ф. А., Хлебников В. К. Методика экспресс-расчета потерь электроэнергии в сетях 0,4 кВ // Электрические станции. 2002. № 9.

Rimantas Deksnys, Robertas Staniulis

#### ELECTRIC POWER DISTRIBUTION TECHNICAL LOSSES

##### Summary

Electric power losses are inevitable in the processes of generation, transmission, distribution and consumption of electric power. These losses can be defined as a difference between energy supplied to a system and accounted or charged customers' energy. Energy losses can be classified into technical associated with losses in system elements, and commercial associated with unidentified and unpaid losses. Knowing the exact amount of technical electric power losses in the distribution network is an important task of the distribution system operator. Accurate calculation of actual and technical electric power

losses enables the distribution system operator to evaluate and minimize commercial energy losses (illegal consumption). The main related problems and a more precise and comprehensive methodology of the calculation of technical power losses and calculation results of real technical power losses are presented.

**Key words:** electric power, distribution network, technical losses, commercial losses, measuring errors and distribution

**Римантас Декснис, Робертас Станюлис**

#### **ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПОТЕРИ ПРИ РАСПРЕДЕЛЕНИИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ**

##### **Резюме**

Потери электроэнергии неизбежны при передаче и распределении. Эти потери могут быть определены как

разность поданной в электрическую сеть и оплаченной потребителями энергии. Потери электроэнергии разделяются на технологические и коммерческие. Технологические связаны с потерями в элементах электрической сети, а коммерческие – с неоплаченной потребителями энергией. Точно установить технологические потери – важная задача оператора распределительных сетей. Определение отсечных и технологических потерь позволяет оператору распределительных сетей установить и минимизировать коммерческие потери. В статье анализируются проблемы расчета технологических потерь электроэнергии и предлагается более точная и полная методика определения последних. Приведены конкретные расчеты технологических потерь.

**Ключевые слова:** электроэнергия, распределительная сеть, технологические и коммерческие потери, погрешности измерения и закон распределения